Research Paper

Examining the Prediction Scenarios of Land Subsidence Caused by Excessive Extraction of Underground Water Resources of Tehran-Shahriyar Plain until the Horizon of 2031

Seyed Hamidreza Hosseini[1], Seyed Habib Mousavi Jahromi[2*], Hossein Mohammad Vali Samani[3]
1. Ph.D. Student in Civil Engineering - Water Resources Management Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Shahr-e- Qods Branch, Tehran , Iran
2*.Professor, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods Branch, Tehran, Iran
3.Professor, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods Branch, Tehran, Iran

Received:2023/10/08
Revised:2023/12/05
Accepted:2024/01/14

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2024.32655.2400

Keywords:
Subsidence, Scenario, Allocation, Underground water level, Land type

Abstract

Introduction: In recent years, the phenomenon of land subsidence, as one of the harmful effects of lowering the level of underground water, has always been the subject of discussion and concern of human societies. Therefore, this issue, along with the intensification of other challenges such as climate change, needs to find a solution. Scientific studies and subsequently designing and compiling various future researches to face possible future conditions with the least cost and economic and social damage. Shahryar Plain is one of the forbidden and critical plains of the country, which is also active in terms of industry and agriculture. This plain has been affected by the phenomenon of land subsidence for the past several years. The presence of vital arteries, economic, pilgrimage and military areas has turned it into a strategic area, which doubles the cost of the harmful consequences of subsidence. Therefore, it is very important to predict the possibilities of structural land by applying different conditions and probability of occurrence in different conditions to prevent and prepare to reduce its negative consequences in the way of implementing future water resource management plans.

Methods: Using the geological, geotechnical and hydrological data of the plain in COMSOL software, the subsidence in 22 selected points of the study area was calculated during the years 2002-2018 and after verification and obtaining a high agreement with the real data and radar interferometric images, the amount of subsidence has been estimated till 2031.

Findings: In this research, it has been tried to rely on the findings obtained from the prediction of the subsidence of the Tehran-Shahriar plain until the horizon of 2031 and based on the multiple scenarios in order to make policies. and provide guidance for future actions in the field of water resource and consumption management.

Conclusion: The general result showed that the rate of subsidence in the early years appeared at a higher rate in the upper layers of the aquifer, and over time, after filling the voids between the soil particles towards the upper layers of the aquifer surface, and finally leads to the surface of the earth, the changes in the underground water level and the type of land have been among the factors affecting the subsidence pattern and rate.

Citation: Hosseini S.H.R, Mousavi Jahromi S.H, Samani H.M.V., Investigation of effective factors in the phenomenon of land subsidence in the western area of Tehran province Water Resources Engineering. Journal. 2024; 17 (62): 1- 15.

***Corresponding author**: Seyed Habib Mousavi Jahromi
Address: Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Quds City Branch, Tehran, Iran.
Tell: +989127126513
Email: H-Mousavi@srbiau.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The growth of the population along with the excessive expansion in the exploitation of underground water resources with the aim of expanding the uses in agriculture, industry and drinking, along with the increasing climate changes and droughts, have adverse results in the quantitative and qualitative aspects of the resources.

One of the negative and disastrous aspects of increasing the deficit of aquifers is the phenomenon of land subsidence. Which, unfortunately, has had an increasing trend in recent years, which mainly occurs due to the increase in the effective vertical stress of the soil as a result of the decrease in pore pressure.

Subsidence is caused as a result of excessive withdrawal from aquifers and increase in their deficit. Therefore, in case of depletion or reduction of this volume of water, the layers of the soil, which are mainly fine-grained sediments, are gradually pressed against each other. As a result of this event, the earth's surface reaches a new lower level. The effects of this sinister event in the long run will cause huge costs to be paid to compensate for its destructive effects. Of course, in many cases it is improbable and almost impossible to compensate for the damages due to the non-irreversibility of the natural behavior of this event. Therefore, it is very important and valuable to research, study and present different future studies with a high probability of occurrence based on documented findings regarding the optimal management of underground water resources and uses.

Materials and Methods

The main goal of this research is to know, examine and understand the behavior of the earth due to changes in the level of underground water in different future conditions, which are specifically called the phenomenon of land subsidence, which is used to achieve stable and strategic plans in optimal water sources management.

In order to predict subsidence, geological, geotechnical and hydrological data of the area were entered separately in the relevant part of COMSOL software. Then, three separate layers including the surface, middle and bottom layers were defined for the range, where the surface layer is free and the bottom layer is non-pervious in such a way that no seepage occurs from it. The middle layer is also largely non-permeable, which makes the upper table have a fixed head.

Land subsidence data were estimated from 2002 to 2018 in 22 selected points (corresponding to the location of piezometers). Also, accordingly, in order to check the accuracy, the Sentinel 1 radar interferometry images taken in 2002-2015 were compared with the corresponding maps of the output of COMSOL software. In comparison of images and maps, zoning of subsidence, an acceptable match in terms of subsidence area between the maps was observed.

As mentioned earlier, the main cause of subsidence in the studied area is the annual drop in the underground water level. By the year 2018, the amount of underground water drop in some parts of the studied area reaches about 30 meters, and the forecast of the drop of the underground water level with the continuation of the current trend is about 40 meters in the year 2031. Therefore, due to the fact that the potential of land subsidence is higher in the central and southern parts of the plain, as a result, the land subsidence is occurring at a faster rate in these parts, so the land subsidence is from the northern and central parts of the plain. It is expanding to the southern and southeastern parts, so that in 2031, almost one third of the studied area will be affected by the effects of subsidence or high rate of about 19 cm and the minimum will be about 9 cm. This amount of land subsidence in some places has led to the creation of cracks and fissures in buildings and agricultural lands, and the infiltration of rainwater and surface water into the cracks in the future. Therefore, it is very important to predict the possibilities of structural land by applying different conditions and probability of occurrence in different conditions in order to prevent and prepare for its adverse consequences in the way of implementing

future plans of water resources management.

Findings

The final achievement of all future research methods is to investigate the possible scenarios. In fact, it is a method to identify and analyze different situations of a phenomenon with alternative and possible options in the future, whose probability of occurrence will be different in different conditions. Relying on the findings of the current research and based on the conventional methods of multiple future research, it was presented in order to make policies and direct future actions in the field of optimal management of water resources in Tehran-Shahriar plain.

In this research, it has been tried to rely on the findings of the subsidence prediction of Tehran-Shahriar plain until the horizon of 2031 and on the basis of multiple future research method (current situation, pessimistic, medium and optimistic), in order to make policies. and provide guidance for future actions in the field of water resource and consumption management.

Discussion

In this research, with the help of COMSOL software, the subsidence in Tehran-Shahriar plain in the period of 2002-2018 in 22 selected points was validated, compared and investigated with the Sentinel 1 radar interferometry images. Then, the subsidence rate from 2002 to 2015 was calculated by the relevant software. Also, in order to make policies and direct future actions in the field of optimal management of water resources and uses, relying on the findings of the prediction of the subsidence of the plain until the horizon of 2031 and based on the multiple future research method (current situation, pessimistic, moderate and optimistic) shows:

The occurrence of subsidence in this plain is a continuous phenomenon until the horizon of 2031 and has a direct relationship with the type of soil layering in the region, including fine-grained formations with a large thickness and changes in the level of the underground water level, so that in the early years at a higher rate. The upper surface of the aquifer has appeared, which can be seen over time after filling the voids between the soil particles and due to the hydraulic connection between the layers at a slower rate than in the past in the upper layers of the aquifer surface and the ground surface. Therefore, the changes in the underground water level and the type of land have been among the factors affecting the subsidence pattern and rate.

The aquifer level will reach 26, 44 and 84 meters respectively, by 2031 with the implementation of various future studies (current, optimistic and average). In the pessimistic future research, this amount of drop will be to the extent that the average thickness of the aquifer in 2031 exceeds 100 meters from the surface of the earth, which will result in the drying up of many surface and semi-deep wells.

Probable subsidence can be predicted by the implementation of various future studies (current, optimistic, medium and pessimistic situation) until 1950, 2350, 2900 and 3100 mm, respectively in 2031 compared to 2002. Of course, it should be noted that subsidence in the future research of continuing the status quo and pessimistically, with the drying up of a large part of the aquifer before the year 2031, will inevitably cause the subsidence to stop at that time. In the case of optimistic future research, due to the stability of the underground water level, it may have a little subsidence for a limited period of time, but it will stop after that.

Population growth along with excessive expansion in the exploitation of underground water resources in agriculture, industry and drinking sectors, along with climate changes and increasing droughts, have adverse results in the quantitative and qualitative aspects of the water resources, will increase the subsidence rate. Therefore, identifying and analyzing the different states of the land subsidence phenomenon, which has a direct relationship with the changes in the groundwater level and the type of land in the region, is very important and valuable in order to achieve stable and strategic plans in the optimal management of water resources and uses.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Seyed Hamidreza Hosseini, Seyed Habib Mousavi Jahormi.

Methodolog and data analysis:

Seyed Hamidreza Hosseini, Seyed Habib Mousavi Jahormi, Hossein Mohammad Vali Samani.

Supervision and final writing

Seyed Hamidreza Hosseini, Seyed Habib Mousavi Jahormi, Hossein Mohammad Vali Samani.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

آینده پژوهی پدیده فرونشست زمین ناشی از برداشت بی‌رویه منابع آب‌های زیرزمینی دشت تهران- شهریار تا افق ۱۴۱۰

سید حمیدرضا حسینی[۱]، سید حبیب موسوی جهرمی[۲*]، حسین محمد ولی سامانی[۳]
۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران – مهندسی مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران- ایران
۲*. استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس، تهران- ایران
۳. استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس، تهران- ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۸/۰۶
تاریخ داوری:۱۴۰۲/۰۹/۱۴
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۰/۲۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2024.32655.2400

واژه‌های کلیدی:
فرونشست، آینده پژوهی، تخصیص، تراز آب زیرزمینی، جنس زمین

چکیده

مقدمه: در سالیان اخیر پدیده فرونشست زمین، به‌عنوان یکی از آثار زیان‌بار کاهش تراز سطح آب زیرزمینی، همواره محل بحث و نگرانی جوامع بشری بوده، بنابراین این مسئله در کنار تشدید سایر چالش‌ها مانند تغییرات اقلیمی، نیازمند یافتن راه حل‌های علمی و متعاقبا طراحی و تدوین آینده پژوی‌های مختلف برای مواجه با شرایط احتمالی پیش‌رو در آینده با کمترین هزینه و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی است.
دشت شهریار، یکی از دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور است که از نظر صنعتی و کشاورزی نیز فعال می‌باشد، این دشت طی چندین سال گذشته تحت تاثیر پدیده فرونشست زمین بوده است. وجود شریان‌های حیاتی، مناطق اقتصادی، زیارتی و نظامی آنرا به منطقه‌ای استراتژیک تبدیل کرده است که هزینه عواقب زیان‌بار ناشی از فرونشست را دو چندان می‌کند. بنابراین پیش بینی احتمالات زمین ساختاری با اعمال شرایط و احتمال وقوع مختلف در شرایط گوناگون برای جلوگیری و آمادگی از کاهش عواقب سوءِ آن در نحوه اجرای برنامه‌های آتی مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

روش: با استفاده از داده های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و آب‌شناسی دشت در نرم‌افزار COMSOL، فرونشست در ۲۲ نقطه منتخب منطقه مطالعاتی را طی سنوات ۹۸-۱۳۸۲ محاسبه و پس از صحت سنجی و کسب تطابق بالا با داده‌های واقعی و تصاویر تداخل سنجی راداری ، میزان فرونشست تا سال ۱۴۱۰ تخمین زده شده است.

یافته‌ها: در این پژوهش سعی شده است با تکیه بر یافته‌های حاصل از پیش‌بینی فرونشست دشت تهران- شهریار تا افق ۱۴۱۰ و بر مبنای روش آینده پژوهی چندگانه(وضع موجود، بدبینانه، میانه و خوش بینانه)، به‌منظور سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به اقدامات آینده در عرصه مدیریت منابع و مصارف آب ارائه گردد.

نتیجه‌گیری: نتیجه کلی نشان داد که نرخ فرونشست در سال‌های ابتدایی با نرخ بالاتری در لایه‌های بالایی سفره آبخوان ظاهر شده که به مرور زمان پس از پر شدن خلل و فرج بین ذرات خاک به سمت لایه‌های فوقانی‌تر سطح آبخوان، و در نهایت به سطح زمین منتهی می‌گردد. بنابراین تغییرات تراز آب‌زیرزمینی و جنس زمین از جمله عوامل موثر بر الگوی و نرخ فرونشست بوده‌اند.

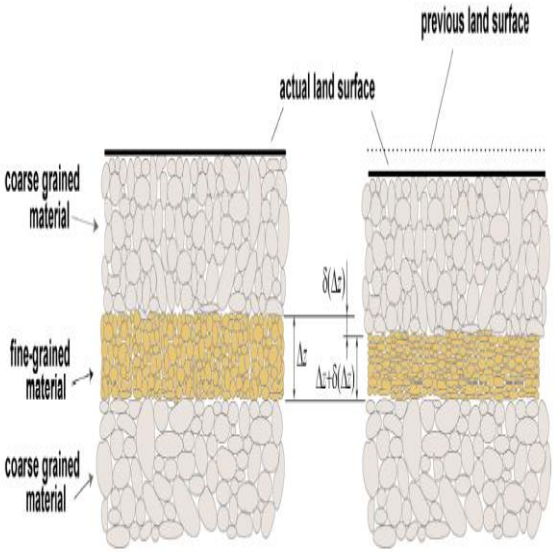
* **نویسنده مسئول:** سید حبیب موسوی جهرمی
نشانی: گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران
تلفن: ۰۹۱۲۷۱۲۶۵۱۳
پست الکترونیکی: H.Mousavi@srbiau.ac.ir

مقدمه

رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویه در بهره‌برداری از منابع آب های زیرزمینی با هدف گسترش مصارف در کشاورزی، صنعت و شرب در کنار تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های فزاینده، پی آمدهای نامطلوبی را در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب به همراه داشته است[۱].

یکی از جنبه‌های منفی و فاجعه‌بار افزایش کسری آبخوان‌ها، پدیده فرونشست زمین است[۲]. که متاسفانه روندی افزایشی طی سال‌های اخیر داشته است که عمدتا به‌دلیل افزایش تنش عمودی موثر خاک در نتیجه کاهش فشاری منفذی رخ می‌دهد[۳].

طبق شکل ۱ این نوع از فرونشست در نتیجه افزایش بی‌رویه برداشت از آبخوان و افزایش کسری آنها ایجاد می‌شود[۴]. بنابراین در صورت اتمام و یا کاهش این حجم از آب، به‌صورت تدریجی لایه‌های خاک که عمدتا از رسوبات ریزدانه هستند بر همدیگر فشرده می‌شوند. در اثر این رخداد، سطح زمین به سطح جدید پایین‌تری می‌رسد[۵]. اثرات ناشی از این رخداد شوم در بلندمدت باعث پرداخت هزینه‌های کلان و هنگفتی جهت جبران تاثیرات مخرب آن می‌گردد[۶]. البته در بسیاری از موارد جبران خسارات وارده به‌دلیل عدم برگشت‌ناپذیر بودن رفتار طبیعی این رخداد، نامحتمل و تقریبا ناممکن می‌باشد[۷]. بنابراین تحقیق، مطالعه و ارائه آینده پژوی‌های متفاوت با احتمال وقوع بسیار زیاد با تکیه بر یافته های مدون در خصوص مدیریت بهینه منابع و مصارف آب‌های زیرزمینی بسیار مهم و ارزشمند است[۸].



شکل ۱-کاهش فشار حفره‌ای و ازدیاد تنش موثر و ایجاد فرونشست(محمدپور،۱۳۹۵)

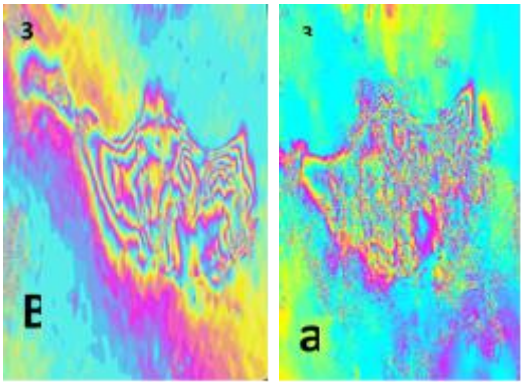
امروزه پدیده شوم فرونشست به‌صورت مشکلی جهانی بروز نموده که در مناطق خشک و نیمه‌خشک نمود بیشتری پیدا می‌کند. حدود ۱۵۰ شهر از شهرهای بزرگ جهان را به‌نحوی با این پدیده درگیر می‌داند[۹]. این پدیده در بسیاری از کشورها مانند مکزیک، استرالیا، کلمبیا، چین، آمریکا، تایلند، هند، ژاپن، ایتالیا، هلند، ونزوئلا، مصر، عربستان سعودی، انگلستان، فرانسه، لهستان و سوئد گزارش شده است[۱۰].

در ایران، اولین دشتی که فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در آن گزارش شده است، دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ شمسی است که به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود ۴۲ سانتی‌متر فرونشست سطح زمین برای آن گزارش شده است[۱۱]. از آن زمان تاکنون دشت‌های فراوانی در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی درگیر این مساله شده‌اند که می‌توان از دشت‌های مهیار اصفهان، کاشمر، نیشابور، مشهد، کاشان، ورامین، تهران، سمنان، سبزوار، سیرجان، کبودر آهنگ و فامنین همدان نام برد. برای تعدادی از استان‌ها مانند سمنان، تهران(مناطق جنوب‌غربی و شرقی) و خراسان رضوی مقداری معادل ۲ تا ۴ سانتی‌متر فرونشست ثبت شده است. این نرخ از فرونشست برای کلان شهری مانند تهران به دلیل تراکم باالای جمعیتی و وجود پروژه‌های عظیم عمرانی و صنعتی، زنگ خطری جدی تلقی می‌شود[۱۲].

دشت تهران- شهریار، یکی از دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور است که از نظر صنعتی و کشاورزی نیز فعال می‌باشد و در گستره جنوب باختری تهران واقع شده است.

در پژوهشی که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای رادار در روش InSAR ، پیرامون شهر تهران انجام شده، دو منطقه اصلی فرونشست مورد شناسایی قرار گرفته‌اند که یکی در جنوب باختری تهران و دیگری در جنوب دشت ورامین واقع می‌باشند[۱۳]. در شکل ۲ نخستین بررسی-های رادار دشت مورد نظر در بازه سپتامبر ۲۰۰۴ تا مارس ۲۰۰۶ انجام گردیده است (شکل ۸-الف) که بیشینه نرخ فرونشست ۱۶/۵ سانتی‌متر بر سال را نشان می دهد. وسعت ناحیه فرونشستی بالغ بر ۴۱۵/۶۴ کیلومتر مربع می‌باشد. از سوی دیگر، آخرین تحلیل راداری ناحیه مطالعاتی (شکل ۸-ب) نشان می‌دهد که بیشینه نرخ فرونشست در یک دوره ۱۱۰ روزه (بهار تا تابستان ۲۰۱۰) حدود ۱۱۰ میلی‌متر می‌باشد. این بدین معنی است که در نقطه بیشینه نرخ فرونشست، روزانه حدود ۱ میلی‌متر جابجایی در بازه زمانی بهار و تابستان ۱۳۸۹ رخ داده است. همچنین بیشینه نرخ فرونشست استخراج شده برای این ناحیه در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۷ حدود ۵۹ سانتی‌متر است[۱۴].

در مطالعه‌ای جامع دیگری، با عنوان بررسی و تحلیل اثرات ناشی از اجرای طرح شبکه آب جمع آوری فاضلاب بر منابع آب و نشست زمین در شهر تهران، که با همکاری شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران انجام یافته است، حاکی از آنست که در سال های اخیر میزان نرخ فرونشست در مناطق ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ شهرداری تهران روبه افزایش یافته و در برخی از مناطق شهری نیز گسترش پهنه‌ی فرونشست به سمت مناطق ۱۰ و ۲۰ شهرداری مشاهده می‌شود. همچنین شهرهای اسلامشهر، شهریار، چهاردانگه، نسیم‌شهر، صباشهر و کهریزک تحت تاثیر فرونشست دشت تهران قرار دارند. بیشینه مقدار فرونسشت در برخی از مناطق دشت تهران، ۳۶ سانتی‌متر در سال می-باشد[۱۵].



شکل ۲- تصاویر تداخل سنجی راداری دشت تهران- شهریار الف) محدوده فرونشست در سال ۲۰۰۴ ، ب) محدوده فرونشست در سال ۲۰۱۰(سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۳۹۲)

در پژوهشی، فرونشست دشت ایذه با استفاده از کد ریاضی- MODFLOW مدل‌سازی گردید. در این مطالعه بارش سالانه حوزه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای مختلف با ۷/۲، ۱۸/۷۱ و ۲۳/۷ درصد کاهش مواجه بوده که به‌صورت کاهش تغذیه سطحی آبخوان نمود پیدا می‌نماید. نتیجه حاکی از آن است که مدل ریاضی استفاده شده جهت شبیه‌سازی آبخوان ایذه دارای خطای ۱۶ درصد می‌باشد. بررسی تغییرات عمودی ساختار زمین نیز نشان داده است در بلند مدت ۲۰ ساله با فرضیات اقلیمی مطرح شده، سطح آبخوان مجموعا حداکثر تا ۱/۵ و حداقل ۰/۹ متر فرونشست رخ می‌دهد[۱۶].

مواد و روش‌ها

دشت تهران- شهریار واقع در استان تهران می‌باشد. این دشت شامل بخش منتخبی از کل پهنه آبرفتی از شرق دشت تهران تا محدوده رودخانه کرج با مساحت حدود ۱۷۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در شکل ۳ با رنگ آبی نشان داده شده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش قسمت مرکزی این دشت می‌باشد که با رنگ قرمز در شکل مشخص شده است.

این محدوده به مساحت ۳۵۹/۶ کیلومتر مربع در حد فاصل ′ ۵۲ و °۳۹ تا ′۳۱ و °۳۹ طول شرقی و ′۵۰ و °۵۳ تا ′۵۰ و °۵۰ عرض شمالی واقع شده است. میانگین بارش سالانه دشت حدود ۲۰۰ میلی متر و میانگین تبخیر سالانه حدود ۲۵۰۰ میلی‌متر است[۱۷].

این دشت در اثر رخدادهای زمین ساختی بوجود آمده و حالت گرابنی دارد. وسعت آبخوان آبرفتی در این دشت ۲۳۹۶/۶۲ کیلومترمربع می‌باشد.که این فروافتادگی توسط مواد حمل شده از ارتفاعات مجاور بوسیله آب‌های جاری (بویژه رودخانه های کن، کرج و چیتگر) پر شده است. از مهمترین منبع تغذیه آبخوان منطقه رودخانه‌های دائمی و فصلی هستند که در ابتدای ورود به دشت بر روی مخروط افکنه‌های دانه درشت حرکت نموده و سپس وارد نواحی مرکزی و انتهایی دشت که از مواد دانه ریز سیلتی و رسی تشکیل شده، می‌گردند.

طبق شکل ۴ به لحاظ ویژگی‌های خاص تکتونیکی و زمین‌شناسی، آبخوان این محدوده را می‌توان به سه بخش کاملا متمایز تفکیک نمود. بدین معنی که در بخش‌های شمالی دشت سفره‌ها اکثرا منفرد و موضعی با پتانسیل ضعیف و در بخش جنوبی آن همراه با نیمه غربی دشت آبخوان اصلی و یکپارچه گسترش دارد. همچنین در اراضی فشافویه واقع در جنوب محدوده مطالعاتی آبخوان آبرفتی جداگانه‌ای وجود دارد. در اراضی واقع در شرق رودخانه کن آبخوان آبرفتی از نظر نوع و شکل آبخوان از نوع آزاد تشخیص داده شده و تنها در بخش‌های جنوبی به دلیل گسترش لایه‌های ریزدانه و نهشته‌های رسی کهریزک و عملکرد گسل‌های ناحیه که سبب روراندگی‌هایی شده است، امکان تشکیل سفره‌های تحت‌فشار در این محدوده وجود دارد[۱۸].

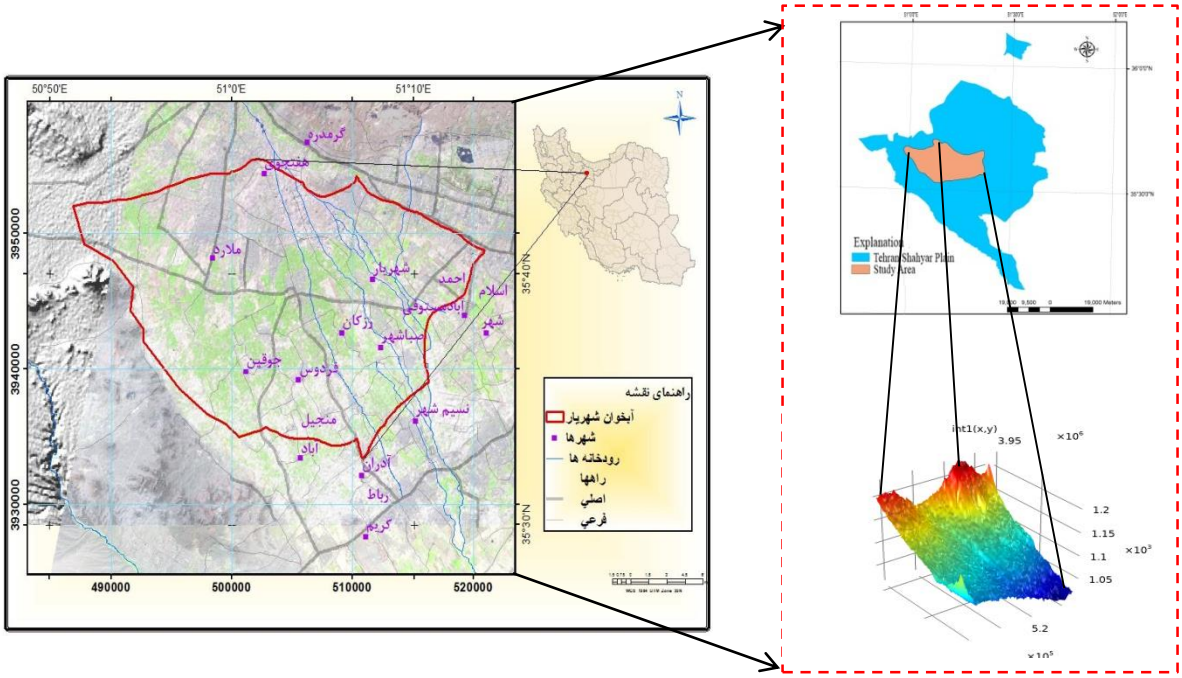
از نظر جنس و اندازه ذرات آبخوان، با توجه به فاصله کم از محورهای رسوب‌گذاری ذرات عموماً دانه درشت و زاویه‌دار و با سیمان ضعیف می‌باشند و در مجموع در حواشی مسیل‌ها و رودخانه‌ها بافت ذرات درشت‌تر و از این محور به طرفین و پائین دست ذرات ریزتر می‌گردند.

از نظر شیب هیدرولیکی و جبهه‌های تغذیه و تخلیه، با توجه به شیب عمومی این ناحیه، جبهه‌های تغذیه کننده آبخوان‌های این نواحی در امتداد ارتفاعات شمیران گسترش داشته و با توجه به شیب سنگ‌کف ناحیه،گرادیان هیدرولیکی این بخش زیاد و جبهه‌های تخلیه کننده آن (خروجی آب‌زیرزمینی) با توجه به اختلاف توپوگرافی زیاد با بخش پائین‌دست، به صورت سرریز به آبخوان اصلی خواهد بود. ضمن آنکه گسل‌های متعدد و پراکنده در این نواحی نقش زهکشی و انتقال و هدایت آب از بخش‌های دیگر از این نواحی را به عهده دارند.

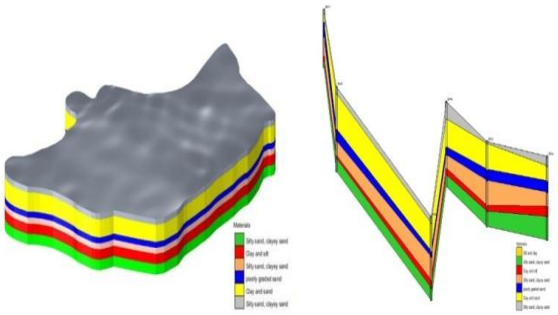
در شکل ۵ آبنمود معرف آبخوان دشت مربوط به سال آبی ۱۴۰۱-۱۳۹۵ با استفاده از آمار ماهیانه نوسانات سطح آب زیرزمینی ۵۵ حلقه چاه مشاهده‌ای و مساحت شبکه تیسن مربوطه رسم شده است. در مهرماه سال ۱۳۹۵ ارتفاع مطلق سطح آب‌زیرزمینی برابر ۱۰۴۵/۳۳ متر و در شهریورماه سال ۱۴۰۱ ارتفاع مطلق سطح آب‌زیرزمینی برابر۱۰۴۴/۱۵ متر است براساس آبنمود تهیه شده در طول دورهٔ آماری ۶ ساله سطح آب‌زیرزمینی ۱/۱۸ متر افت نموده که این پدیده به‌علت کاهش بارندگی و افزایش برداشت از آبخوان آبرفتی اتفاق افتاده است[۱۹].

روش کار

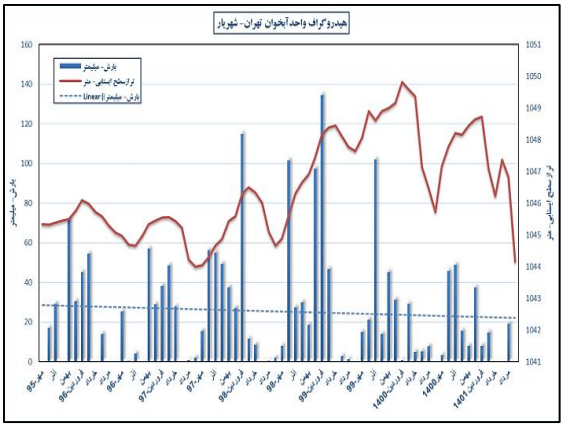
هدف اصلی این تحقیق، شناخت، بررسی و درک صحیح از رفتار زمین در اثر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در شرایط مختلف آتی است که به‌طور خاص پدیده فرونشست زمین می‌نامند که برای برای دستیابی به برنامه‌های استوار و راهبردی در مدیریت بهینه منابع آب می‌باشد.



شکل ۳- نمایی از دشت تهران- شهریار و توپوگرافی محدوده مورد مطالعه

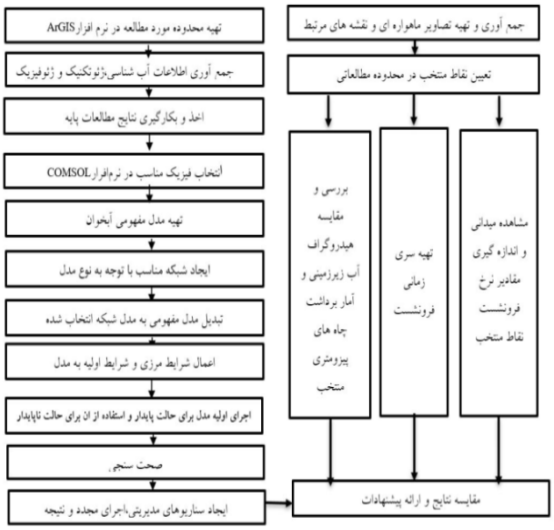


شکل ۴- مدل زمین‌شناسی و توپوگرافی دشت تهران-شهریار



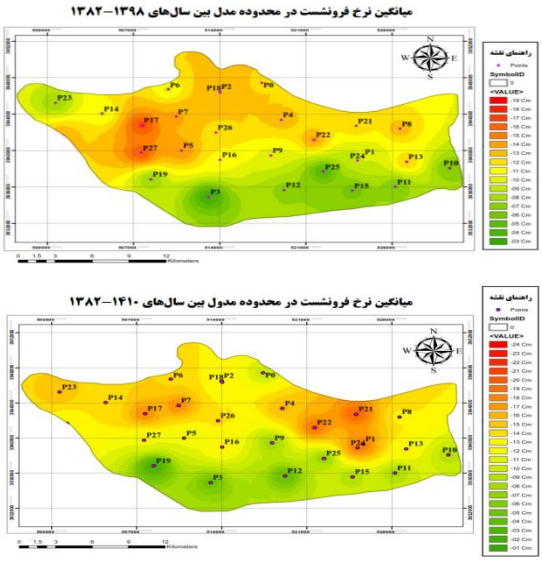
شکل ۵- آبنمود واحد آبخوان تهران- شهریار (شرکت آب منطقه‌ای تهران – ۱۳۹۹)

طبق فلوچارت ۶ جهت پیش بینی فرونشست از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و آب‌شناسی ناحیه به تفکیک در قسمت مربوطه نرم‌افزار COMSOL وارد گردید. سپس سه لایه مجزا شامل لایه های سطح، میانی و کف برای محدوده تعریف گردید که لایه سطح بصورت آزاد و لایه کف بصورت ناتروا می‌باشد بگونه‌ای که هیچ‌گونه تراوشی از آن صورت نمی‌پذیرد. لایه میانی نیز تا حدود زیادی ناتروا بوده که باعث می‌شود سفره بالایی دارای هد ثابت باشد.

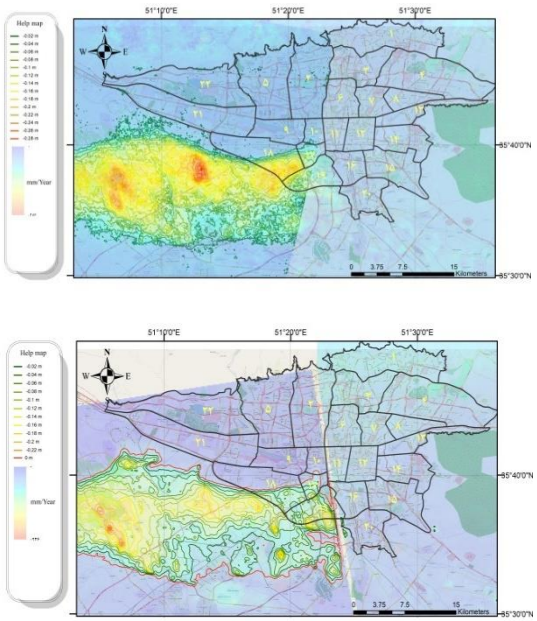


شکل ۶- فلوچارت پیش‌بینی نرخ فرونشست توسط نرم افزار

بر اساس شکل ۷، داده‌ها فرونشست زمین از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۸ در ۲۲ نقطه انتخابی (منطبق بر محل پیزومترها) تخمین زده شد. همچنین طبق شکل ۸ جهت صحت‌سنجی، تصاویر تداخل‌سنجی راداری Sentinel 1 محدوده در سال‌های سال ۹۵-۱۳۸۲، با نقشه‌های متناظر هم‌نشست خروجی نرم‌افزار COMSOL مقایسه گردید. در مقایسه تصاویر و نقشه‌ها پهنه‌بندی فرونشست تطابق قابل قبولی از نظر پهنه‌ی فرونشست بین نقشه‌ها ملاحظه گردید.

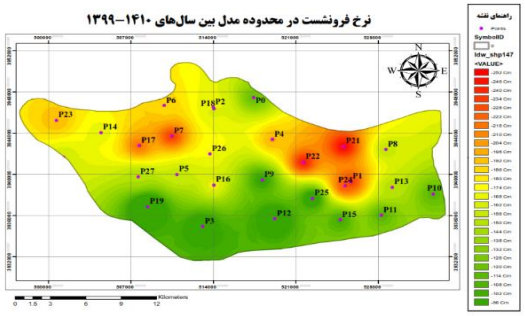


شکل۷- نقشه های هم نشست در محدوده مدل سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵



شکل۸- نقشه فرونشست محدوده با استفاده از تصاویر تداخل سنجی راداری Sentinel 1 در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵

در ادامه طبق شکل ۹ توسط نـــرم افـزار مربوطه، پیش‌بینی نـرخ فرونشست طی سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ در منطقه مورد مطالعه انجام می‌گردد.



شکل ۹- نقشه تغییرات نرخ فرونشست طی سال-های ۱۴۱۰-۱۳۹۹

همان‌طور که قبلا به آن اشاره گردید علت اصلی ایجاد فرونشست در گستره مورد مطالعه افت سالیانه سطح آب زیرزمینی است[۲۰]. تا سال ۱۳۹۸ میزان افت آب زیرزمینی در بعضی قسمت‌های منطقه مورد مطالعه، به حدود ۳۰ متر می‌رسد و پیش‌بینی افت سطح تراز آب زیرزمینی با ادامه روند فعلی، در سال ۱۴۱۰ حدود ۴۰ متر می‌باشد. لذا با توجه به این‌که پتانسیل فرونشست زمین در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت بیشتر است، در نتیجه فرونشست زمین در این قسمت‌ها بـــا سرعت بیشتری در حال رخ دادن است، بنابراین فرونشست زمین از قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت به قسمت‌های جنوبی و جنوب-شرقی در حال گسترش است، به‌نحویکه در سال ۱۴۱۰ تقریبا یک سوم گستره مورد مطالعاتی متاثر از اثرات فرونشست یا نرخ بالا حدود ۱۹ سانتی‌متر و کمینه حدود ۹ سانتی‌مترخواهد بود. این میزان فرونشست زمین در بعضی نقاط، منجر به ایجاد ترک‌ها و شکاف‌هایی در ساختمان-ها و زمین‌های کشاورزی شده است، همچنین نفوذ آب باران و آب‌های سطحی به درون ترک‌ها در آینده منجر به پیدایش و گسترش این درزها ترک‌ها خواهد شد[۲۱]. بنابراین پیش بینی احتمالات زمین ساختاری با اعمال شرایط و احتمال وقوع مختلف در شرایط گوناگون برای جلوگیری و آمادگی از عواقب سوء آن در نحوه اجرای برنامه‌های آتی مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۲۲].

آینده پژوهی

دستاورد نهایی تمامی روش‌های آینده‌پژوهی، سناریوست. در واقع روشی است برای شناسایی و تحلیل وضعیت‌های مختلف یک پدیده با گزینه‌های بدیل و ممکن در آینده، که احتمال وقوع آنها در شرایط گوناگون، متفاوت خواهد بود[۲۳]. با تکیه بر یافته‌های حاصل از تحقیقات حاضر و بر مبنای روش‌های مرسوم، آینده پژوهی‌های مختلف(وضع موجود، ، بدبینانه، میانه و خوش بینانه) طبق جدول ۱ آینده پژوهی‌های چندگانه به‌منظور سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به اقدامات آینده در عرصه مدیریت بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت تهران- شهریار ارائه گردید.

جدول ۱- آینده پژوهای تعریف شده

علامت اختصاری	عنوان آینده پژوهی	شرح آینده پژوهی
RS	وضع موجود Reference Scenario	ادامه شرایط موجود با اعمال سنوات گذشته
NCS	بدبینانه(غیرمحافظه کارانه) Non-Conservation Scenario	سرانه حجم مصارف آب کاهش نیافته و افزایش منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت محقق نگردیده و در حدود سال های اخیر می‌باشد.
CS	میانه(محافظه کارانه) Conservation Scenario	۵۰ درصد از افزایش ظرفیت تامین آب سطحی برنامه‌ریزی شده برای سال ۱۴۱۰ و بخشی از کاهش سرانه آب در نظر گرفته شده محقق گردد.
FDS	خوش‌بینانه(توسعه کامل) Fll Development Scenario	۱۰۰ درصد مصارف در نظر گرفته از منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین گردد.

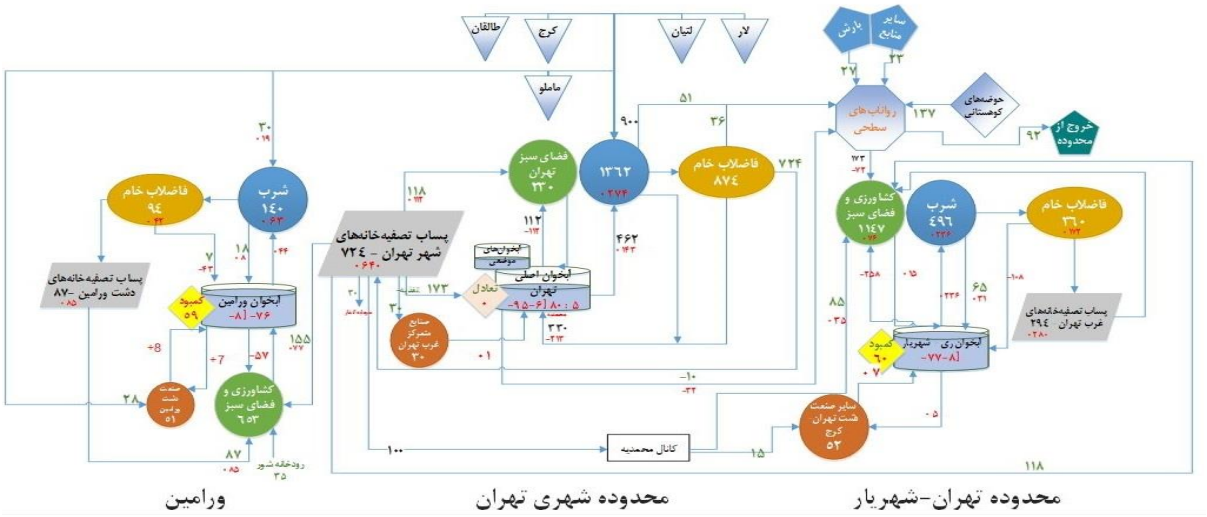
تخصیص در آینده پژوهی بدبینانه

در طراحی این آینده پژوهی در یک نگاه بدبینانه فرض شده است که وضعیت موجود مصارف ادامه یافته و تغییری نیز در میزان تامین از منابع آب سطحی حاصل نشود. در سال‌های اخیر حداقل سرانه تامین آب در حدود ۳۴۸ لیتر در روز بوده است که درسال‌های ۹۲، ۹۳ و ۱۳۹۵ محقق شده است. لذا در این سناریو فرض شده است که در سال ۱۴۱۰ نیز سرانه تامین آب برابر با همین مقدار باشد که در این صو/رت میزان کل تامین آب مورد نیاز برای شهر تهران برابر ۱۴۵۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. در این حالت فرض شده است ضریب تلفات فیزیکی و تبدیل آب به فاضلاب مطابق با فرض‌های طرح جامع فاضلاب ثابت باقی بماند. لذا با در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای سایر ضرایب بیلان آب تا پساب، میزان پساب قابل برنامه‌ریزی برابر با ۷۷۱ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین با در نظر گرفتن بیلان رواناب‌های سطحی، میزان خروجی رواناب سطحی از ۲۵۹ میلیون مترمکعب به ۲۷۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت که حدود ۱۷۶ میلیون مترمکعب آن می‌تواند برای تامین نیاز اراضی کشاورزی جنوب تهران به کار برده شود. همچنین در این آینده پژوهی فرض شده است که برنامه‌های انتقال و افزایش ظرفیت تامین آب شهر تهران از منابع آب سطحی تا سال ۱۴۱۰ تحقق پیدا نکند. در این حالت برای تعیین میزان تامین از منابع آب سطحی، متوسط ۲۸ سال اخیر برای سدهای کرج، لار و لتیان برابر با ۵۹۵ میلیون مترمکعب و برای سدهای طالقان و ماملو برابر با ظرفیت تعیین شده یعنی ۱۸۵ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است که قبل از ۲۸ سال اخیر، میزان تامین آب سدهای لار و لتیان با مقادیر فعلی تفاوت قابل توجهی داشته است لذا در محاسبه، میانگین تامین آب این سدها مدنظر قرار نگرفته است. با توجه به توضیحات بالا میزان تامین آب منابع سطحی برابر با ۷۸۰ میلیون مترمکعب و تامین از منابع آب زیرزمینی ۶۷۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. از آنجائیکه تاکید مطالعه حاضر بر وضعیت کلان شهر تهران است، وضعیت سایر مناطق مطابق با فرض‌های قبلی در نظر گرفته شده است و نیاز سایر بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، خدمات و فضای سبز نیز ثابت در فرض و در نظر گرفته شده است.

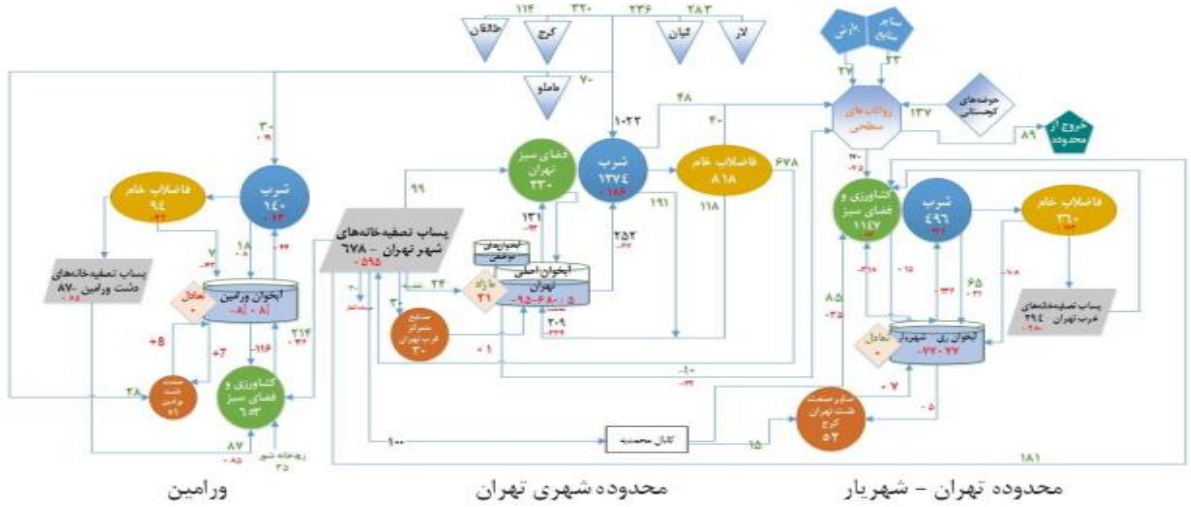
در شکل ۱۰ وضعیت سیستم در این آینده پژوهی ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در این آینده پژوهی، کمبودهای پیش‌بینی شده ۱۳۹ میلیون مترمکعب در دشت تهران- شهریار افزایش خواهد یافت. که جز با کاهش نیاز خالص آبی کشاورزی به طریق تغییر الگوی کشت و یا سطح زیرکشت تا حدود ۲۰ درصد راهکاری برای جبران آن به نظر نمی‌رسد. البته باید توجه داشت که اگر کاهش نیاز کشاورزی با افزایش راندمان اتفاق بیافتد، به دلیل کاهش میزان آب برگشتی به آبخوان ، اثرگذاری بر وضعیت آبخوان محدودتر بوده و کاهش بیشتری بسته به میزان افزایش راندمان در نیاز کشاورزی باید مدنظر قرار گیرد. به عبارت دیگر مشکل صرفا با افزایش راندمان مرتفع نشده و کاهش سطح و الگوی کشت ضروری است. با توجه به اولویت‌های و الزام تامین آب بخش کشاورزی در هریک از این قسمت-های دشت، می‌توان در جهت برنامه‌ریزی مدون و علمی کاهش نیاز خالص این بخش در شرایط آتی اقدام نمود.

تخصیص در آینده پژوهی میانه

در این آینده پژوهی، فرض شده است که در سال ۱۴۱۰ سرانه تامین آب، متوسط مقدار فعلی و پیش‌بینی شده در طرح جامع فاضلاب شهر تهران یعنی برابر با ۳۲۷ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز باشد. در این صورت میزان کل تامین آب مورد نیاز در سال ۱۴۱۰ برابر ۱۳۶۲ میلیون مترمکعب مترمکعب برای شهر تهران خواهد بود. در این حالت فرض شده است ضریب تلفات فیزیکی و تبدیل آب به فاضلاب مطابق با فرض‌های طرح جامع فاضلاب ثابت باقی بماند. لذا با در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای سایر ضرایب بیلان آب تا پساب میزان پساب قابل برنامه‌ریزی برابر با ۷۲۴ میلیون مترمکعب خواهد بود و میزان جریان ورودی به آبخوان نیز برابر با ۳۳۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. همچنین با در نظر گرفتن بیلان رواناب‌های سطحی، میزان خروجی رواناب سطحی از ۲۵۹ میلیون مترمکعب به ۲۶۴ میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت که حدود ۱۷۳ میلیون مترمکعب آن می‌تواند برای تامین نیاز اراضی کشاورزی جنوب تهران به‌کار برده شود. همچنین در این آینده پژوهی فرض شده است که تنها ۵۰٪ از آب تامینی پیش‌بینی شده از برنامه‌های انتقال و افزایش ظرفیت تامین آب از منابع آب سطحی تا سال ۱۴۱۰ تحقق پیدا کند. در این آینده پژوهی میزان تامین آب منابع سطحی برابر با ۹۰۰ میلیون مترمکعب و تامین از منابع آب زیرزمینی ۴۶۲ میلیون مترمکعب خواهد بود.



شکل ۱۰- سیمای منابع و مصارف در دشت تهران- شهریار در شرایط آتی با در نظر گرفتن آینده پژوهی بدبینانه

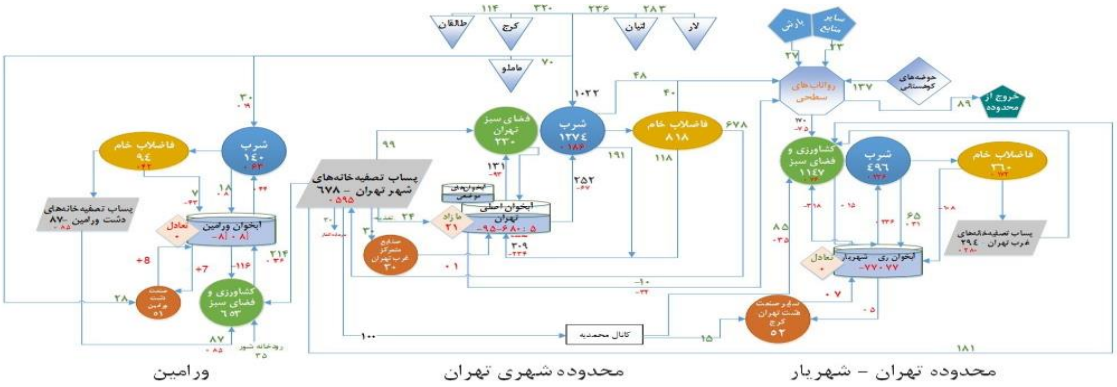


شکل ۱۱- سیمای منابع و مصارف در دشت‌های تهران- شهریار در شرایط آتی با در نظر گرفتن آینده پژوهی میانه

وضعیت سایر مناطق مطابق با فرض‌های قبلی در نظر گرفته شده است و نیاز سایر بخش‌های صنعت، کشاورزی و فضای سبز نیز ثابت فرض شده است. در شکل ۱۱ وضعیت سیستم در این آینده پژوهی ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در این آینده پژوهی، کمبود به حدود ۶۰ میلیون مترمکعب افزایش خواهد یافت. که با کاهش کمتر از ۱۰٪ نیازخالص کشاورزی در دشت تهران- شهریار (تغییر الگو یا سطح زیرکشت) و نیز مدیریت و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی در جنوب تهران (تا حدود ۶۰ میلیون مترمکعب) به راحتی قابل جبران است. البته با توجه به نوسانات رواناب‌های سطحی، توصیه کاهش نیاز خالص کشاورزی، افزایش راندمان و کاهش سطح زیر کشت در دشت همچنان مورد تاکید است.

تخصیص در آینده پژوهی خوش‌بینانه

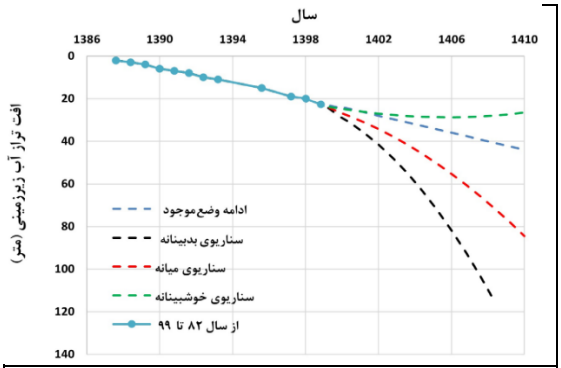
درشکل ۱۲ سیمای منابع و مصارف در محدوده مطالعاتی کل استان تهران بدلیل مدیریت یکپارچه منابع آب(انتقال و توزیع) و در افق سال ۱۴۱۰ با لحاظ کردن برنامه‌ریزی و تخصیص‌های پیشنهادی و با در نظر گرفتن تمامی منابع تولید و مصارف ارائه شده است. در این آینده پژوهی کلیه نیازها در محدوده دشت تهران- شهریار تامین شده است. با توجه به اینکه تامین ۱۰۰ درصدی منابع آب سطحی و زیرزمینی مصارف در نظر گرفته شده این مهم برای دشت در افق سال ۱۴۱۰ خوش‌بینانه به نظر می‌رسد، در آینده پژوهی خوش‌بینانه احتمال وقوع شرایط در نظر گرفته شده با واقعی فاصله خواهد داشت که این امر باید در ارزیابی وضعیت آتی سیستم مدنظر قرار گیرد. با این هدف دو آینده پژوهی بدبینانه و میانه نیز برای سیستم در سال ۱۴۱۰ در نظر گرفته شد.



شکل ۱۲- سیمای منابع و مصارف در دشت تهران-کرج و ورامین در شرایط آتی با در نظر گرفتن آینده پژوهی خوش بینانه

تغییرات تراز آب زیرزمینی

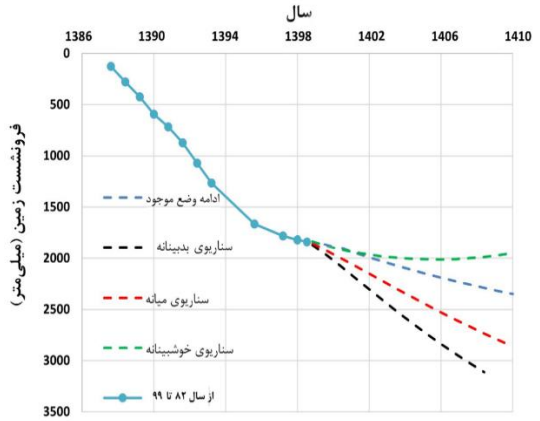
با توجه به آینده پژوهی پیشنهاد شده برای تخصیص می‌توان تغییرات ایجاد شـده در حجم آبخوان را به تغییرات سـالانه تراز آب زیرزمینی آبخوان مرتبط کرد. بر این اساس، با فرض اینکه تغییرات تراز آبخوان در محدوده فرونشـستی با تغییرات تراز آبخوان در کل دشت تهران- شـهریار یکسـان باشد در شکل ۱۳ تغییرات سطح ایستابی آبخوان در آینده پژوهی مختلف برای محدوده فرونشستی در دشت تا سال ۱۴۱۰ پیش بینی شده است. تغییرات تراز آب سطح ایستابی از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۹ بر اسـاس اندازه‌گیری پیزومترها و از سـال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ بر اساس مقادیر بدست آمده از آینده پژوهی مختلف محاسبه شده است. در تهیه این شـکل فرض شـده اسـت که تغییرات سـطح آبخوان در محدوده فرونشـست با تغییرات تراز آبخوان در کل دشت در سال‌های آتی یکسـان باشـد. با فرض عدم محدودیت در عمق آبخوان، تراز ایستابی آبخوان در سال ۱۴۱۰ نسبت به سال ۸۲ به ترتیب ۲۶ ، ۴۴ و ۸۴ متر در آینده پژوهی مختلف(وضـعیت موجود، خوش‌بینانه و میانه) خواهـد بود. در آینده پژوهی بدبینانه این میزان افت در حدی خواهد بود که از ضـخامت متوسط آبخوان در سال ۱۴۱۰ که حدود ۱۰۰ متر فراتر رفته که منتج به خشک شدن بسیاری از چاه‌های سطحی و نیمه عمق می‌شود.



شکل ۱۳- تغییرات تراز آبخوان در آینده پژوهای مختلف تا سال ۱۴۱۰

نرخ فرونشست زمین

با توجه به ارتباط بین فرونشـست و پایین رفتن تراز آب زیرزمینی و با استناد به شکل ۱۴، می‌توان با در نظر گرفتن تغییرات تراز آب تا سال ۱۴۱۰ در آینده پژوهی مختلف، فرونشـسـت محتمل را در محدوده دشت را از لحاظ حیث بحرانی‌ترین حالت و سایر موارد ممکنه تخمین زد. طبق نمودار ترسـیم شـده ، فرونشـسـت محتمل با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف تا سـال ۱۴۱۰ را نشـان داده شـده است. به طور خلاصه، میزان فرونشست زمین حدود ۱۹۵۰، ۲۳۵۰ ، ۲۹۰۰ و ۳۱۰۰ میلی‌متر در سـال ۱۴۱۰ نسـبت بـه سـال ۱۳۸۲ با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف (وضـعیت موجود، خوش بینانه، میانه و بدبینانه) محتمل و قابل پیش بینی اسـت. البته باید توجه داشت که فرونشست در آینده پژوهی ادامه وضـع موجود و بدبینانه با خشـک شـدن بخش اعظمی از آبخوان پیش از فرا رسیدن سال ۱۴۱۰، ناچارا موجب توقف فرونشـسـت در آن زمان خواهد شـد. در صـورت اجرای آینده پژوهی خوش بینانه با توجه به ثابت بودن تراز آب زیرزمینی ممکن اسـت تا مدت زمان محدود، اندک فرونشـسـتی داشـته باشـد لیکن بعد از آن متوقف خواهد گردید.



شکل ۱۴- منحنی تغییرات احتمالی فرونشست در آینده پژوهای مختلف تا سال ۱۴۱۰

نتایج

در این پژوهش به کمک نرم افزار COMSOL، فرونشست در محدوده دشت تهران- شهریار در بازه زمانی ۹۸- ۱۳۸۲ در ۲۴ نقطه منتخب با تصاویر تداخل‌سنجی راداری Sentinel 1، صحت‌سنجی، مقایسه و بررسی گردید. سپس نرخ فرونشست از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۱۰ توسط نرم افزار مربوطه محاسبه گردید. همچنین به‌منظور سیاست-گذاری و جهت‌دهی به اقدامات آینده در عرصه مدیریت بهینه منابع و مصارف آب با تکیه بر یافته‌های حاصل از پیش‌بینی فرونشست دشت تا افق ۱۴۱۰ و بر مبنای روش آینده پژوهی چندگانه(وضع موجود،بدبینانه، میانه و خوش‌بینانه) نشان می‌دهد:

* وقوع فرونشست در این دشت تا افق ۱۴۱۰ یک پدیده مستمر است و ارتباط مستقیمی با نوع لایه‌بندی خاک منطقه شامل سازندهای ریزدانه با ضخامت زیاد و تغییرات سطح تراز آب‌زیرزمینی دارد به نحویکه در سال‌های ابتدایی با نرخ بالاتر و در لایه بالایی سفره آبخوان ظاهر شده که به مرور زمان پس از پر شدن خلل و فرج بین ذرات خاک و با توجه به ارتباط هیدرولیکی بین لایه‌ها با سرعت کمتری نسبت به گذشته در لایه‌های فوقانی سطح آبخوان و سطح زمین مشاهده می-گردد. بنابراین تغییرات تراز آب‌زیرزمینی و جنس زمین از جمله عوامل موثر بر الگوی و نرخ فرونشست بوده‌اند.

* تراز ایستابی آبخوان با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف(وضعیت موجود، خوش‌بینانه و میانه) تا سال ۱۴۱۰ به ترتیب ۲۶ ، ۴۴ و ۸۴ متر خواهد رسید. در آینده پژوهی بدبینانه این میزان افت در حدی خواهد بود که از ضخامت متوسط آبخوان در سال ۱۴۱۰ از ۱۰۰ متر فاصله از سطح زمین فراتر رفته که منتج به خشک شدن بسیاری از چاه‌های سطحی و نیمه عمق می‌شود.

* فرونشست محتمل با اجرای آینده پژوهی‌های مختلف(وضعیت موجود، خوش‌بینانه، میانه و بدبینانه) تا سال ۱۴۱۰ به‌ترتیب ۱۹۵۰، ۲۳۵۰ ، ۲۹۰۰ و ۳۱۰۰ میلی‌متر در سال ۱۴۱۰ نسبت به سال ۱۳۸۲ قابل پیش بینی است. البته باید توجه داشت که فرونشست در آینده پژوهی ادامه وضع موجود و بدبینانه با خشک شدن بخش اعظمی از آبخوان پیش از فرا رسیدن سال ۱۴۱۰، ناچارا موجب توقف فرونشست در آن زمان خواهد شد. در صورت اجرای آینده پژوهی خوش بینانه با توجه به ثابت بودن تراز آب زیرزمینی ممکن است تا مدت زمان محدود، اندک فرونشستی داشته باشد لیکن بعد از آن متوقف خواهد گردید.

* رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویه در بهره‌برداری از منابع آب های زیرزمینی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب در کنار تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های فزاینده، پی آمدهای نامطلوبی را در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب و افزایش نرخ فرونشست را به همراه داشته است. بنابراین شناسائی و تحلیل وضعیت‌های مختلف پدیده فرونشست زمین که ارتباط مستقیمی با تغییرات تراز آب زیزمینی و جنس زمین منطقه دارد برای دستیابی به برنامه‌های استوار و راهبردی در مدیریت بهینه منابع و مصارف منابع آب بسیار مهم و ارزشمند است.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: سیدحمیدرضاحسینی، سیدحبیب موسوی جهرمی. نظارت و نگارش نهایی: سیدحبیب موسوی جهرمی، سیدحمیدرضاحسینی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Haqshanas, Mohammad، 2016، "Evaluation of ground subsidence caused by water level changes in Baghistan region (Shahriyar plain) using electrical resistance data". Master's thesis in Engineering Geology, Tarbiat Modares University.
2. Faryabi, Muhammad. Kalantri, Nasraleh. Chit-Sazan, Manouchehr and Rahimi, Muhammad Hossein,2008 . “We are talking about the old days of Rafsanjan’s homeland in the countryside of the city of Zarzamini.” Hamish Domain of the Network Directorate of Abiyari and Zahkashi, Shahid Chamran Ahvaz University, Faculty of Water Science Engineering, page 8.
3. Organization of Geology and Mineral Exploration of the country ،2005، “The first generation of people in Dasht Tehran - Shahryar (First report),” page 54.
4. Zeng, C-.F., Wang, S., Xue, X.-L., Zheng, G. & Mei, G.-X. 2021. Evolution of deep ground settlement subject to groundwater drawdown during dewatering in a multi-layered aquifer-aquitard system: Insights from

numerical modelling. *Journal of Hydrology,* 603**,** 12707.

5. Chao-Feng Zeng, Shuo Wang, Xiu-Li Xue, Gang Zheng, Guo-Xiong Mei., 2021. Evolution of deep ground settlement subject to groundwater drawdown during dewatering in a multi-layered aquifer-aquitard system: Insights from numerical 14odeling,Journal of Hydrology ,Volume 603, Part C,
6. Lashkaripour, G., Ghafouri, M., Rostami Barani, H. 2020. Investigation of the causes of fissure formation and subsidence in the west of Kashmar plain. *Geological Studies*, 1(1),.111-95.
7. Mahmoudpour, M., Khamehchiyan, M., Nikoudel, M.R., Ghassemi, M.R.,2013, Characterization of regional land subsidence induced by groundwater withdrawals in Tehran, Iran, JGeope 3(2): 49-62.
8. Nguyen, Q., 2016. The main causes of land subsidence in Ho Ghi Minh City. Procedia Engineering, 142:334-341.
9. H.Guo, 2015 , Groundwater- abstraction induced land subsidence and groundwater regulation in the North China Plain, piahs- 372
10. Tran, D.-H., Wang, S.-J. & Nguyen, Q. C. 2022. Uncertainty of heterogeneous hydrogeological models in groundwater flow and land subsidence simulations–A case study in Huwei Town, Taiwan. *Engineering Geology,* 298**,** 106543.
11. Iranian, Riadullah،2014،Continuity analysis of south Alborz aquifer (Abhar to Varamin plains), conference on management of water resources and uses (based on sustainable development of central Alborz region, challenges, strategies and new approaches), University of Tehran, page 12. .
12. Manafi Azar, Ali ، 2018،"Prediction of the amount of subsidence in the southwestern plain of Tehran aquifer using intelligent models" Master's thesis in Engineering Geology, Tarbiat Modares University.
13. Mohammad Khan, S., Ganjian, H., Grossi , L., Zanganeh Tabar, Z. 2020. Evaluation of the effect of groundwater depletion on subsidence using radar images, study area, Qorveh plain, *Geographical Data Quarterly* 112(28),. 229-220.
14. Organization of Geology and Mineral Exploration of the country ،2005، "The first generation of people in Dasht Tehran - Shahryar (First report)," page 54.
15. Tehran Regional Water Company،2021، "South Tehran surface water management plan (quantitative and qualitative studies)". 1st consultant engineering, volumes 1 and 2.
16. Rajabi Khamseh, k, Nikbakht Shahbazi, A, Fatahhayan, H, Zahrabi, N., 2021,modeling of Izeh plain subsidence using MODFLOW mathematical code, Journal of Water Resources Research iran, 16(4): 112-126.
17. Tehran Regional Water Company. 2020. inventory of the third period of piezometers and wells in operation of Tehran-Shahriar aquifer., Tehran.[In Persian]
18. Angorani S, Shaiati Panahi M, Memaian H, Bolourchi MJ., 2015. Dynamic modeling of Land Subsidence in Tehran Plain. Geosciences 25(97):211-220
19. Tehran Regional Water Company. 2022. Artificial feeding studies through wide open wells in Tehran-Shahriar plain , Tehran.
20. Nadiri, A, Taheri, Z , Barzegari, G, Dedeban, K., 2018, Providing a framework for estimating aquifer subsidence potential using genetic algorithm, Journal of Water Resources Research, 4(2):185-174.
21. Nadiri, A., Monafi Azar, A., Khamehchian, M. 2018. Comparison of aquifer subsidence vulnerability in southwestern Tehran plain with simple

weighting model and genetic algorithm, *Journal of Kharazmi Earth Sciences*, 4(2),. 212-199.

22. Papi, R. & Solemani, M. 2020. Analysing Time Series of Land Subsidence in the West of Tehran Province (Shahriar Plain) and its Relation to Groundwater Discharge by InSAR Technique. *Geography and Environmental Sustainability,* 10**,** 109-128.
23. Mohammad Khan, S., Ganjian, H., Grossi , L., Zanganeh Tabar, Z. 2020. Evaluation of the effect of groundwater depletion on subsidence using radar images, study area, Qorveh plain, *Geographical Data Quarterly* 112(28),. 229-220